

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет електроніки**

(повна назва інституту/факультету)

**Кафедра мікроелектроніки**

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## Магістерська дисертація

**на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності \_\_\_\_\_ **153 Мікро- та наносистемна техніка** \_\_\_\_\_  
(код і назва)

на тему: НВЧ спектри композитів діелектрик-метал \_\_\_\_\_ .

Виконав (-ла): студент (-ка) \_\_\_\_\_ курсу, групи \_\_\_\_\_  
(шифр групи)

Гетманчук Віктор Вікторович \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник: Доктор фізико-математичних наук, професор

Поплавко Юрій Михайлович \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант з нормоконтролю  
(назва розділу)

доц., к.ф.м.н., с.н.с.Свєчніков Г.С  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант з інформаційних питань ст. викл., к.т.н. Діденко Ю.В. \_\_\_\_\_  
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає  
запозичень з праць інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) \_\_\_\_\_ **Факультет електроніки** \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Кафедра \_\_\_\_\_ **Кафедра мікроелектроніки** \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність \_\_\_\_\_ **153 Мікро- та наносистемна техніка,** \_\_\_\_\_  
(код і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Гетмачук Віктор Вікторович** \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації НВЧ спектри композитів діелектрик-метал,  
науковий керівник дисертації доктор фізичних наук, проф. Поплавко Ю.М. \_\_\_\_\_,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження композити складу силікон-графітк та силікон-нікель  
\_\_\_\_\_

4. Предмет дослідження Вивчення та дослідження НВЧ спектрів композитів  
методом діелектричної спектроскопії. \_\_\_\_\_

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

1. Пошук та ознайомлення з літературними джерелами за темою магістерської дисертації. 2. Вивчення особливостей композитних матеріалів метал-діелектрик. 3. Ознайомлення з методами аналізу НВЧ спектра в композитних матеріалах. 4. Дослідження НВЧ спектрів у композитах метал-діелектрик. 5. Аналіз отриманих результатів. 6. Обговорення результатів роботи та написання магістерської дисертації. \_\_\_\_\_

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

7. Орієнтовний перелік публікацій \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 02.07.2020 \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Пошук та ознайомлення з літературними джерелами за темою магістерської дисертації.	02.07.2020 – 13.09.2020	
2	Вивчення особливостей композитних матеріалів метал-діелектрик	14.09.2020 – 27.09.2020	
3	Ознайомлення з методами аналізу НВЧ спектра в композитних матеріалах	28.09.2020 – 18.10.2020	
4	Дослідження НВЧ спектрів у композитах метал-діелектрик	12.10.2020 – 25.10.2020	
5	Аналіз отриманих результатів	19.10.2020 – 25.10.2020	
6	Обговорення результатів роботи та написання магістерської дисертації.		

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота налічує 68 сторінок, 4 розділи, 16 ілюстрації, 22 таблиці та 47 джерел за переліком посилань.)

В даній роботі розглянуто питання загальних теоретичних відомостей з діелектричної спектроскопії та вимірювання параметрів композитних матеріалів типу метал - діелектрик. Досліджено метод діелектричної спектроскопії та наведено результати експериментальних досліджень. При дослідженні НВЧ спектрів композитних матеріалів виникають труднощі, тому що методи не забезпечують достатньої точності.

Метою даної роботи є дослідження  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$  композитних матеріалів діелектрик-метал на низьких і високих частотах. Для досягнення мети, необхідно виконати наступні задачі:

1. Дослідження частотних залежностей  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$  композитних матеріалів діелектрик-метал.

2. Дослідження залежностей  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$  при зміні частки активного елемента композиту.

Об'єкт дослідження: силікон-графік, силікон-нікель.

Предмет роботи: дослідження діелектричних характеристик композитів діелектрик-метал методом діелектричної спектроскопії.

Практичне значення одержаних результатів: Як показують наші дослідження, композити діелектрик-метал являють собою перспективні для НВЧ техніки

Ключові слова: Композитні матеріали, діелектрик - метал, діелектрична спектроскопія, діелектрична проникність, провідність, НВЧ.

## ABSTRACT

The work presented on 68 pages consists of 4 parts, 16 figures, 22 tables and 47 sources in the list of references.

In the days of robots, the power of out-of-the-box theoretical views from dielectric spectroscopy and the modification of parameters in composite materials of the metal-dielectric type is considered. After the method of electrical spectroscopy, the results of experimental data were brought to bear. When the LHF spectrum of composite materials is continued, it is difficult to come up with difficulties, so the methods will not be without sufficient accuracy.

By virtue of the given robots continued progress of  $\varepsilon$  and  $\operatorname{tg}\delta$  composite materials dielectric-metal at low and high frequencies. To reach the goal, it is necessary to determine the next tasks:

1. Pre-development of frequency deposits  $\varepsilon$  and  $\operatorname{tg}\delta$  of composite materials dielectric-metal.
2. Doslidzhennya deposits  $\varepsilon$  and  $\operatorname{tg}\delta$  when changing the part of the active element to the composite.

Ob'kt doslidzhennya: silikon-graphic, silikon-nikel.

Subject of work: advancement of dielectric characteristics of dielectric-metal composites by the method of dielectric spectroscopy.

Practical significance of the obtained results: How to show our progress, dielectric-metal composites are promising for low-frequency frequency technology

Key words: Composite materials, dielectric-material, dielectric spectroscopy, dielectric penetration, conductivity, LHF.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕОРЕТИЧНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ У НВЧ ТЕХНІЦІ.....	12
1.1 Загальні властивості і особливості пристроїв НВЧ.....	13
1.2 Ланцюги, елементи і електронні прилади НВЧ.....	13
1.3 Пристрої і системи НВЧ.....	15
1.4 Перехід діелектрик-метал .....	16
Висновки по розділу .....	19
РОЗДІЛ 2. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ .....	20
2.1 Ефект суми.....	21
2.2 Комбінаційний ефект.....	22
2.3 Ефект добутку.....	23
2.4. Перколяція .....	24
Перколяція .....	24
2.5. Металеві частинки .....	25
2.6 Полімерні матриці для композиційних матеріалів.....	32
2.7 Методи отримання композиційних матеріалів .....	33
2.8 Контактні явища на межі метал-діелектрик.....	35
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДОМ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ, ТА АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ЗРАЗКІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЧАСТКИ АКТИВНОГО ЕЛЕМЕНТУ.....	37
3.1 Діелектрична спектроскопія .....	37
3.2 Діелектричні механізми.....	38
3.3 Аналіз результатів.....	41
Висновки по розділу .....	47
РОЗДІЛ 4 .....	48
РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ .....	48
4.1 Опис ідеї проекту .....	48
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	50

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	50
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	56
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	58
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	61

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕОРЕТИЧНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

КМ – композитний матеріал.

ДС – діелектрична спектроскопія.

НВЧ - надвисокі частоти.

$\epsilon$  - діелектрична проникність.

$\text{tg}\delta$  - тангенс кута діелектричних втрат.

$\theta$  - об'ємна концентрація компонента.

$\omega$  – частота релаксації.

D – індукція.



## ВСТУП

В даний час композиційні матеріали знаходять все більш широке застосування в різних областях техніки (наприклад, слюдосодержащих матеріали на основі слюди і полімерного сполучного в електроенергетиці і електротехніці, зокрема, в електромашинобудуванні, склопластики в авіації та ракетобудуванні; магнітодіелектрики, що складаються з діелектричної матриці і магнітного наповнювача, в радіотехніці та ін) Безсумнівною перевагою композитів є те, що варіюючи один або кілька входять до їх складу компонентів, можна домогтися отримання матеріалів, що володіють характеристиками, які не властивими вихідним компонентам. При цьому роботи в області композиційних матеріалів стимулюються як появою матеріалів, що володіють новим комплексом властивостей, до числа яких можна віднести високотемпературні надпровідники, так і використанням при створенні композиційних матеріалів природної сировини, що раніше не застосовувався з цією метою огляду на широке застосування композиційних матеріалів в техніці, можна констатувати, що розробка і створення нових композиційних матеріалів, зокрема, для електроенергетики, є важливим і актуальним завданням

Відкриття Г Камерлінг-Оннесом ефекту надпровідності викликало величезний інтерес і великі очікування Але в подальшому з'ясувалося, що область застосування даного ефекту вельми обмежена Через необхідність забезпечення вкрай низьких температур доводилося використовувати рідкий гелій, що було дорого Все змінилося після відкриття в 1986 році Беднорцем і Мюллером високотемпературної надпровідності (ВТНП) при сполученні  $\text{La-Ba-Cu-O}$  Уже через рік після цього була виявлена надпровідність в з'єднанні  $\text{Y-Ba-Cu-O}$  ітрієві кераміка з температурою переходу в надпровідний стан, що становить 93 К, стала першим матеріалом, що переступили "азотний бар'єр", т е. з'явилася можливість в якості холодоагенту використовувати рідкий азот (з температурою кипіння 77,4 К), що було набагато вигідніше з економічної точки зору Відкриття ВТНП дало новий

поштовх до досліджень в області можливих застосувань явища надпровідності в науці і техніці.

Створення та впровадження надпровідних матеріалів в такі області, як енергетика (системи генерування, зберігання / накопичення / і передачі енергії на відстані), електротранспорт (поїзда з використанням ефекту магнітної левітації), електроніка та комп'ютерна техніка (надпровідні квантові інтерферометри, надпровідні елементи пам'яті), фізика елементарних частинок (надпровідні прискорювачі), гірничодобувна промисловість (магнітні сепаратори), медицина (надпровідні томографи) і ін, означають, по суті, науково-технічну революцію. Однак, незважаючи на очевидний прогрес в даній області, застосування явища надпровідності в техніці досі залишається обмеженим. Це пов'язано, в першу чергу, з тим, що надпровідність виключно низькотемпературне явище. Максимальна досягнута до теперішнього часу температура переходу в надпровідний стан 135 К (без додатка надвисоких тисків). Досягнення навіть таких температур переходу в надпровідний стан в матеріалах є складною технологічною завданням. Існує безліч методів синтезу надпровідників, однак всі вони пов'язані зі значними труднощами. Так, "традиційний" метод твердофазного синтезу при всій своїй простоті є дуже тривалим і енергоємним і вимагає, крім того, випал в середовищі кисню. Хімічні методи дозволяють отримати самі "чисті" надпровідники, але є технологічно складними. Методи текстурного розчину (або розплаву) вкрай чутливі до якості вихідних компонентів.

Таким чином, важливим і актуальним є пошук нових методів синтезу, що дозволяють отримати високотемпературні надпровідники з мінімальними тимчасовими і матеріальними витратами з подальшим використанням таких надпровідників для створення нових композиційних матеріалів для електроенергетики та інших областей техніки.

Не менш актуальним є і розробка нових композиційних матеріалів для створення об'ємних силових резисторів. Об'ємні силові резистори в даний час широко застосовуються в електроенергетиці і електротехніці. Для захисту

електроапаратури перспективними є керамічні об'ємні силові резистори (на основі, наприклад, таких вітчизняних матеріалів, як Бетель, ЕКОМ) , здатні поглинати (розсіювати) значні потужності при імпульсних перенапруженнях, що виникають в електричних мережах і системах нерегулярність послідовності дисипації виділяється теплової енергії гостро ставить питання про надійність об'ємних силових резисторів як в збереженні електричних характеристик, так і в плані теплофізичних і фізико-механічних параметрів (опір неминучим термоударам, при яких ДТ може досягати  $\approx 200^{\circ}\text{C}$ ). Таким чином, важливим завданням є розробка вітчизняних силових резисторів для потреб електроенергетики, в тому числі на основі що раніше не використовувався з цією метою недорогого і доступного сировини. Це дозволить розширити асортимент композиційних матеріалів, використовуваних для створення таких резисторів

## РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ У НВЧ ТЕХНІЦІ

Техніка НВЧ, область науки і техніки, пов'язана з вивченням і використанням властивостей електромагнітних коливань і хвиль в діапазоні частот від 300 МГц до 300 ГГц. Ці границі умовні: в деяких випадках нижньою межею діапазону СВЧ вважають 30 МГц, а верхньою - 3 ТГц. За типом вирішуваних завдань і пов'язаних з ними областях застосування пристрої і системи НВЧ (випромінюючі, передавальні, приймальні, вимірювальні і ін.) можна поділити на інформаційні, пов'язані з радіозв'язком, телебаченням, радіолокацією, радіонавігацією, радіоуправління, технічної діагностики, обчислювальної техніки тощо, і енергетичні, застосовувані в промисловій технології, побутових приладах, в медичному, біологічному та хімічному обладнанні, при передачі енергії. Пристрої і системи НВЧ використовуються як потужний інструмент у багатьох наукових дослідженнях, проведених в радіоспектроскопії, фізики твердого тіла, ядерної фізики, радіоастрономії тощо.

Широкий діапазон НВЧ умовно розбивають на окремі ділянки, найчастіше визначаються довжиною хвилі  $\lambda$ , - ділянки метрових ( $\lambda = 10-1$  м), дециметрових (100-10 см), сантиметрових (10-1 см), міліметрових (10-1 мм) і дециміліметрових (або субміліметрових) (1-0,1 мм) хвиль. (Довжина хвилі пов'язана з частотою  $f$  співвідношенням  $\lambda = c/f$ , де  $c$  - швидкість поширення електромагнітних хвиль у вакуумі.)

Теорія електромагнітного поля НВЧ ґрунтується на загальних законах електродинаміки, відповідно до яких складові електромагнітного поля (вектори електричного і магнітного полів  $E$  і  $H$ ), що залежать від координат і часу, і характеристики джерел, що породжують це поле (щільність заряду і щільність повного струму), пов'язані між собою системою Лоренца - Максвелла рівнянь. Вводячи поняття хвильового опору середовища  $r = E / H$ , можна перейти до телеграфічних рівняння, які встановлюють зв'язок між напругою і струмами в СВЧ

пристроях (залежними від координат і часу), з одного боку, і електричними параметрами пристроїв - з іншого.

### 1.1 Загальні властивості і особливості пристроїв НВЧ

Пристрої НВЧ техніки (особливо на довжинах хвиль від 3мм до 300мм) володіють властивостями які вирізняють їх від інших, які застосовуються прилеглих до них ділянках спектра електромагнітного розповсюдження. Такими властивостями є: спів розмірність лінійних розмірів пристроїв з довжиною хвилі, слабе поглинання хвиль в іоносфері і сильне (на певних частотах) поглинання їх в при поверхневому шарі, сумірність часу прольоту електронів в електронних приладах з періодом НВЧ коливань, високий коефіцієнт відбиття від металевих поверхонь, можливість концентрації НВЧ енергії в вузькому промені, здатність енергетичної взаємодії з речовиною (молекулами і атомами), велика інформаційна ємність діапазону НВЧ.

### 1.2 Ланцюги, елементи і електронні прилади НВЧ

Лінії передач у НВЧ діапазоні являють собою пасивні ланцюги, тобто ті в яких немає джерел живлення, і елементи що входять до цих ланцюгів, у вигляді всіляких хвилеводів, наприклад двупровідних, нанометрові, мікрометрові, дециметрових хвилях, коаксіальні, порожнистих, полоскових, діелектричних, субміліметрових, завдяки яким до приймача передається електромагнітна енергія для того щоб збуджувати виникнення нових сигналів, інформації і енергії в НВЧ спектрі.

Довжина лінії передач завдовжки довжині хвилі, чи більша за неї, а час за який хвиля розповсюджується в ній можна ототожнити з періодом НВЧ коливань, або буде перебільшувати його. Ці лінії можна віднести до ланцюгів з розподіленими параметрами, оскільки величини які характеризують компонент розподілені вздовж усього провідника, що відрізняє їх від електричних ланцюгів в яких

властивості компонентів зосередженні саме в компоненті і характеризують його а не всю систему. Електричні процеси, що протікають в такого роду ланцюгах, вимагають вивчення не тільки в часі, але і в просторі.

При підключенні генератора зі змінною ЕРС да лінії передачі, а також навантаження, починає рухатись біжуча хвиля вздовж усієї лінії, яка переносить собою енергію, що виникає. Такий режим може спостерігатися лише коли вона навантажена на опір, величина якого дорівнює її хвильовому опору, такий режим називається чисто біжуча хвиля. Величини струму і напруги, які виникають уздовж лінії завжди постійні при відсутності втрат в будь-якій точці лінії, при умові відсутності корисних втрат, а енергія яка передається повністю поглинається навантажувальним опором. У розімкнутої і короткозамкнутою лініях, навпаки, встановлюється режим стоячих хвиль, і вздовж лінії чергуються вузли і пучності напруги і струму. Режим змішаних(комбінованих) хвиль встановлюється тоді коли характер і значення опору навантаження набуває інших значень, це процес являється більш складним - частина енергії падаючої хвилі поглинається в активному опорі навантаження, а інша енергія відбивається від неї - утворюються стоячі хвилі. Вхідний опір такої лінії або її відрізків може мати періодичний характер і величину, що змінюється в широких межах в залежності від вибору довжини робочої хвилі, характеру навантаження і геометричної довжини лінії. В лінії в якій відсутні втрати навантаження на активний опір.

Коефіцієнт біжучої хвилі характеризує ці всі процеси і являє собою відношення мінімального і максимального значення напружень, що розповсюджується уздовж всієї лінії, а повністю обернений до нього коефіцієнт стоячої хвилі. Ці коефіцієнти характеризують потужність та характеристики режиму лінії передач.

Властивості ліній можна використовувати у конструюванні різних НВЧ елементів, таких як: коаксіальні резонатори, фазообертачі, об'ємні резонатори, електричні фільтри, гібридні з'єднання, спрямовані відгалужувачі, атенюатори, трансформатори повних опорів, шлейфи, двопровідні, тощо.

Як пасивні так і активні ланцюги містять джерела НВЧ сигналів та енергії. До пасивних можна віднести такі типи електронних приладів як: квантові, напівпровідникові, вакуумні тощо.

Електровакуумні прилади широко використовуються у НВЧ техніці для генерування, детектування перетворення і посилення пучків енергії. Їх можна розділити на 2 основні групи: електронні прилади з динамічним управлінням струму та електронні лампи.

Паказники роботи електронних приладів НВЧ можна узагальнити величиною залежності частоти від досяжних рівнів енергії та рівнем шумів при прийомі. Ці характеристики, зокрема, пов'язані з отриманням найбільшого енергетичного потенціалу - співвідношення вихідної потужності передавального пристрою до мінімально допустимої (для нормальної роботи) потужності шумів приймального пристрою; від його величини, в свою чергу, залежить дальність дії радіоелектронних систем.

### 1.3 Пристрої і системи НВЧ

Різні поєднання пасивних, а також активних і пасивних НВЧ ланцюгів використовують для створення різноманітних пристроїв, таких, як антенно-фідерні, що з'єднують антену за допомогою фідера з вхідною ланцюгом радіоприймача або вихідним ланцюгом радіопередавача, генератори та підсилювачі, приймачі випромінювання, помножувачі частоти, вимірювальні прилади тощо. Застосування в НВЧ пристроях надпровідних резонаторів, водневих і цезієвих генераторів дозволило отримувати дуже малу відносну нестабільність частоти ( $10^{-10}$ - $10^{-13}$ ).

Прилади магнетронного типу використовують при побудові радіоелектронних систем які потребують великий енергетичний потенціал.

Параметричні підсилювачі ефективні для вирішення проблем зниження шумів. Також для цього підходять квантові підсилювачі - мазери.

#### 1.4 Перехід діелектрик-метал

Перехід діелектрик-провідник в неврегульованих гетерогенних системах є однією з різновидів перколяційних процесів і давно привертає увагу дослідників. Зокрема, гігантське збільшення на порозі перколяції статичної діелектричної проникності (ДП), обумовлене Максвелл-вагнерівською (МВ) релаксацією, неодноразово спостерігалось і досліджувалося в двокомпонентних статистичних сумішах, двоякоперіодичні системах зі структурою шахівниці і сегнетокераміки з сильно розрізняються ДП ( $\epsilon^{(1)} / \epsilon^{(2)} \gg 1$ ) і питомими провідностями ( $\gamma_1 / \gamma_2 \ll 1$ ) компонентів. Однак інший, не менш цікавий ефект - гігантське збільшення ефективної провідності композиту, залишився поза увагою дослідників. В даний час не досліджені не тільки фізичний механізм, але навіть сама можливість отримання гігантських провідностей в неврегульованих гетерогенних системах. Нами розглядалася двовимірний двохкомпонентна статистична суміш, що представляє собою систему хаотично розташованих в просторі однаково орієнтованих довгих кругових циліндрів, які перебувають під дією перпендикулярного до довжини циліндрів однорідного макроскопічного електричного поля напруженості  $E$ . Для спільного розгляду та врахування взаємного впливу діелектричних властивостей і провідності використовувався самоузгоджений метод ефективного середовища. Суть методу полягає в тому, що для кожного циліндра, який вважається зануреним в однорідну середу з підпадає під визначення ефективної ДП  $\epsilon$ , розраховуються внутрішні електричні поля  $E_i = 2\epsilon E / (\epsilon + \epsilon^{(i)})$  і індукції  $D_i = \epsilon^{(i)} E_i$  ( $i = 1, 2$ ), індуковані зовнішнім електричним полем  $E$ . Усереднення внутрішніх полів або індукції по ансамблю при обліку стандартного для методу ефективного середовища вимоги відсутності полів розсіювання дозволяє отримати самоузгоджене рівняння для знаходження  $\epsilon$ :



$$\frac{\langle E \rangle}{E} = \theta_1 \frac{2\varepsilon}{\varepsilon + \varepsilon^{(1)}} + \theta_2 \frac{2\varepsilon}{\varepsilon + \varepsilon^{(2)}}, \quad (1.1)$$

де  $\theta_1$  і  $\theta_2 = 1 - \theta_1$  - об'ємні концентрації першого і другого компонентів суміші відповідно,  $\langle E \rangle = E$  - середнє поле, що ототожнюється з макроскопічним полем  $E$ . Рішення квадратного рівняння дозволяє отримати для ефективної ДП системи формулу

$$\varepsilon = H + D, \quad H = \frac{(2\theta_1 - 1)\varepsilon^{(1)} + (2\theta_2 - 1)\varepsilon^{(2)}}{2}, \quad D = (H^2 + \varepsilon^1 \varepsilon^2)^{1/2}. \quad (1.2)$$

Для дослідження переходу діелектрик-провідник необхідно використовувати у виразах (1) і (2), по аналогії з випадком двухкомпонентної системи з послідовно розташованими шарами, комплексні ДП для обох компонентів:  $\varepsilon^{(1,2)} = \varepsilon_{1,2} - i\gamma_{1,2}/\omega$ , де  $\omega$  - кругова частота зовнішнього однорідного гармонійного електричного поля. Для простоти ДП  $\varepsilon_{1,2}$  і провідності  $\gamma_{1,2}$  передбачалися постійними (не залежними від частоти  $\omega$ ). Наявність комплексних ДП  $\varepsilon^{(1,2)}$  обумовлює комплексну форму ефективної ДП суміші  $\varepsilon = \varepsilon' - i\varepsilon'' = \varepsilon' - i\gamma / \omega$  і дозволяє розрахувати частотну залежність дійсної частини ДП  $\varepsilon'$  і провідності  $\gamma$  композиту.

Фізичний механізм розходження статичної діелектричної проникності відомий. При фазовому переході діелектрик-провідник на порозі перколяції  $\theta_c$  утворюється нескінченний провідний кластер з близько розташованих частинок з великою провідністю, на кордонах яких відбувається накопичення електричного заряду (МВ поляризація, пов'язана з МВ релаксацією). При цьому товщина непровідних (або слабо проводять) шарів між провідними частинками (кластерами) близька до нуля, і реалізується ситуація, подібна спостерігається в шаруватих структурах [8-10]. Накопичення об'ємного заряду на межах компонентів можна використовувати для

створення матеріалів з дуже великою ДП і гігантської діелектричної релаксацією. Гігантська збільшення ДП композиту спостерігається тільки на низьких частотах. При збільшенні ж частоти  $\omega$  в системі відбувається гігантська діелектрична релаксація, аналогічна МВ релаксації в шаруватих 2-2-композитах. Діелектричний спектр статистичної суміші в широкому діапазоні частот по обидві сторони від середньої частоти релаксації  $\omega_r$ , і особливо при  $\omega > \omega_r$ , має недебаєвський характер, що зумовлено широким розподілом (особливо поблизу порогу перколяції) часів релаксації. Середній час релаксації  $\tau = 1 / \omega_r$  залежить від концентрацій і співвідношень ДП і провідності компонентів і критично збільшується при наближенні до порога перколяції. Причина недебаєвського характеру спектрів очевидна: фізичні константи ефективного середовища, в яку занурені хаотично розподілені частки першого і другого компонентів суміші, залежать від частоти  $\omega$  електричного поля. При низьких і дуже високих (в порівнянні з  $\omega_r$ ) частотах дебаєвський характер спектра відновлюється. Порівняння поведінки статистичної суміші і композиту з послідовно розташованими шарами компонентів, що мають  $\epsilon^{(1)} / \epsilon^{(2)} \gg 1$  і  $\gamma_1 / \gamma_2 \ll 1$ , показує, що гігантське збільшення ефективної провідності має місце в обох випадках. Тому безсумнівно, що механізм гігантського збільшення ефективної провідності пов'язаний з перерозподілом електричних полів всередині компонентів при збільшенні частоти вимірювального поля. Якщо на низьких частотах внутрішні електричні поля розподіляються відповідно провідності, то на високих частотах - відповідно ДП (в композиті з послідовно розташованими шарами внутрішні поля обернено пропорційні ДП). Поблизу порога перколяції виникає нескінченний керамічний кластер з дуже тонкими прошарками провідного компонента, що має малу ДП. Ці прошарки оточені сегнетокераміки з дуже високою ДП, в них виникають дуже сильні електричні поля, а їх висока провідність сприяє збільшенню ефективної провідності  $\gamma$  статистичної суміші. Недебаєвський характер діелектричних спектрів статистичної суміші проявляється в тому, що максимум  $\gamma$  спостерігається на дуже високих частотах, на 4 і більше порядку перевищують середню частоту релаксації, тобто при переході в дебаєвського область спектра.

## Висновки по розділу

Композитні матеріали являються дуже хорошими для використання у НВЧ техніці, оскільки вони володіють багатьма характеристиками, які ми можемо змінювати або регулювати тими чи іншими механізмами.

## РОЗДІЛ 2. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Композитні матеріали – це матеріали структура яких складається з 2 або більше компонентів. Геометричне роздашування цих компонентів безпосередньо пов'язані з їхніми властивостями, тому і цікаве вивчення симетрії та геометрії цих матеріалів.

З метою аналізу *двокомпонентного композиту*, зв'язність кожного компоненту визначається таким чином: якщо компонент пов'язаний сам із собою в усіх  $X$ ,  $Y$  і  $Z$  напрямках, то він позначається цифрою «3», а якщо компонент пов'язаний тільки у напрямку  $Z$ , то він позначається цифрою «1». Відсутність зв'язку між компонентами позначається як «0».

З такого запису двофазний композит ототожнюється з двома числами:  $m-n$ . Число  $m$  позначає зв'язність **активного** компонента: наприклад, у разі  $n'$ -*єзокопозиту* це – п'єзоелектрик, а у разі пірокомпозиту це – піроелектрик). Число  $n$  – це позначення неактивного компоненту (наприклад, це полімер).

Існує безліч типів двохфазних композитів, наприклад 0-0, 1-0, 2-0, 3-2, 3-3. Композит класу 0-0 можна зобразити у вигляді двох регулярно розташованих у просторі чорних і білих кубиків: вони не контактують з кубиками такого ж типу. В композиті класу 1-0 характерним є зв'язок однакових заштрихованих кубиків: вони пов'язані один з одним *вздовж  $Z$  напрямку*, і так далі. Структура класу 2-2 вказує на те що п'єзоелектричні та полімерних листи укладаються поперемінно, а клас 3-3 нагадує схожий на хащі.

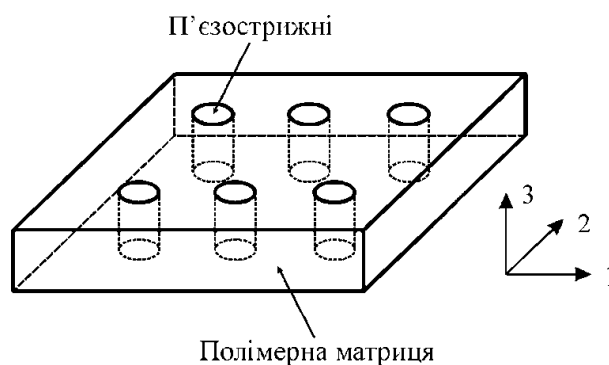


Рисунок. 2.1. Композит із зв'язністю 1-3, що складається з п'єзоелектричних стрижнів та полімеру

Вплив на властивості композиту зв'язності та властивостей компонентів можна поділити на три основних ефекти: ефект *суми*, ефект *комбінації* і ефект *добутку*.

### 2.1 Ефект суми

Розглядається лише *одна* з багатьох фізичних властивостей композиту та компонентів. Якщо припустити, що компонента 1 має властивість, що характеризується параметром  $Y_1$ , а компонента 2 – параметром  $Y_2$ , то у композиті спостерігається деяке *проміжне* «вихідне значення» цього параметра – між  $Y_1$  і  $Y_2$ . У разі двокомпонентної системи властивості компонентів перетворюються у композиті в сумарну функція  $Y^*$ , зображену на рис. 2.2.

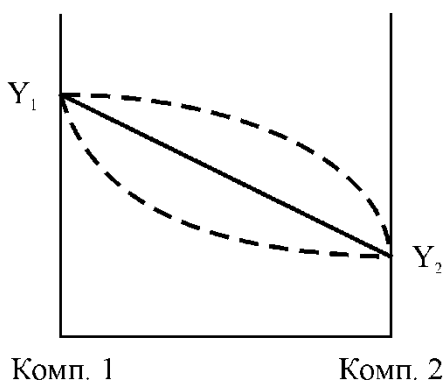


Рисунок. 2.2. - Ефект суми у двокомпонентному композиті

При цьому ефекті залежність отриманого у композиті параметру від об'ємної частки компонентів може характеризуватись не тільки лінійною залежністю, але мати увігнуту або опуклу форму. Важливе лише те, що усереднене значення параметру  $Y^*$  в композиті не буде ні більшим за значення  $Y_1$ , ні меншим, ніж  $Y_2$ .

Наприклад, розглядається діелектрична проникність  $\epsilon^*$ , отримана у композиті з часток рутилової кераміки, у якої  $\epsilon_1 = 100$ , у суміші з полімером поліетиленом з  $\epsilon_2 = 2,5$ . Діелектрична проникність композиту залежить від об'ємної частки кераміки, але не може перевищити значення  $\epsilon_1$ .

## 2.2 Комбінаційний ефект

Компоненти композиту характеризується *двома* різними властивостями:  $Y$  і  $Z$ . У цьому разі, в деяких випадках, усереднене значення деякого **вихідного** параметру, отриманому в композиті, може перевищувати параметри обох компонентів композиту. Це підвищення вихідного параметру залежить від відношення  $Y/Z$ , яке залежить від обох параметрів  $Y$  і  $Z$ .

Як показано на рис. 2.3, можна припустити, що параметри  $Y$  і  $Z$  описуються відповідно опуклою та увігнутою залежністю.

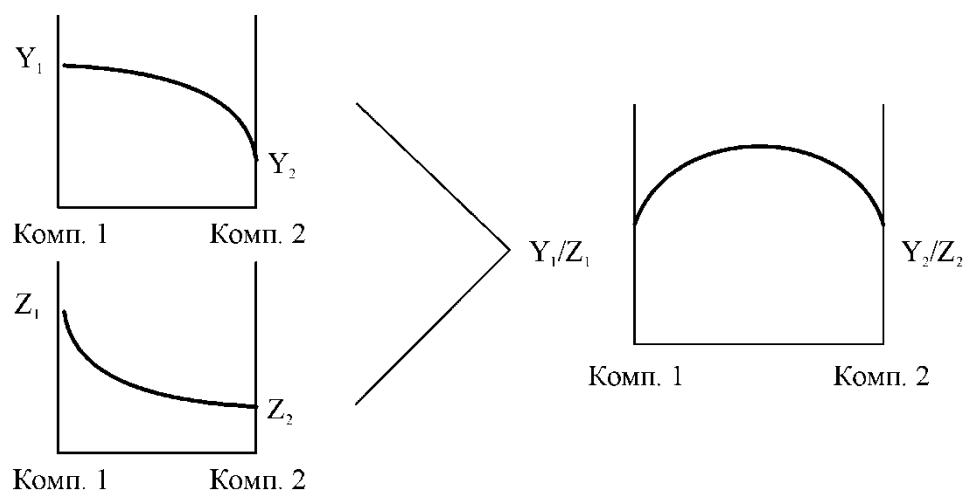


Рисунок. 2.3. - Комбінаційний ефект у двофазних композитах

Комбінація значень  $Y/Z$  призводить до максимуму цього відношення за деяких проміжних співвідношеннях об'ємів компонентів. Наприклад, у деяких п'єзокомпозитах комбінуються властивість активної компоненти (п'єзомодуль) і діелектрична проникність полімеру. У результаті п'єзочутливість композиту, що залежить саме від **відношення п'єзомодуль/проникність**, значно зростає. Композит має суттєву перевагу перед властивостями компонентів. Більш детальна інформація про такі ефекти розглядається у третій частині книги.

### 2.3 Ефект добутку

У двокомпонентному композиті, де в одному з компонентів суттєва деяка властивість  $Y$  (якої немає у другому компоненті), зате у другому компоненті присутня зовсім інша властивість  $Z$  (якою перший компонент не володіє), можна розраховувати на появу **абсолютно нових функцій**, що створені композитною структурою – це і є ефект добутку.

Наприклад, на основі цієї концепції, був розроблений **магнітоелектричний** композитний керамічний матеріал, що складається з магнітної компоненти із значним магнітострикційним ефектом ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ , що не є п'єзоелектриком) і

п'єзоелектричної компоненти ( $\text{BaTiO}_3$ , що не проявляє помітних магнітних властивостей). Під час дії магнітного поля на цій композит, ферит кобальту породжує *магнітострикцію*, яка передається титанату барію як механічна напруженість, що й призводить до генерації електричного заряду і електричної напруги через п'єзоелектричний ефект у  $\text{BaTiO}_3$ . Таким чином, завдяки композиційному матеріалу створені недорогі керамічні датчики для моніторингу магнітного поля.

## 2.4. Перколяція

Перколяція є одним з найважливіших фізичних явищ, що відбуваються в електропровідних і поглинаючих мікрохвилі композитах.

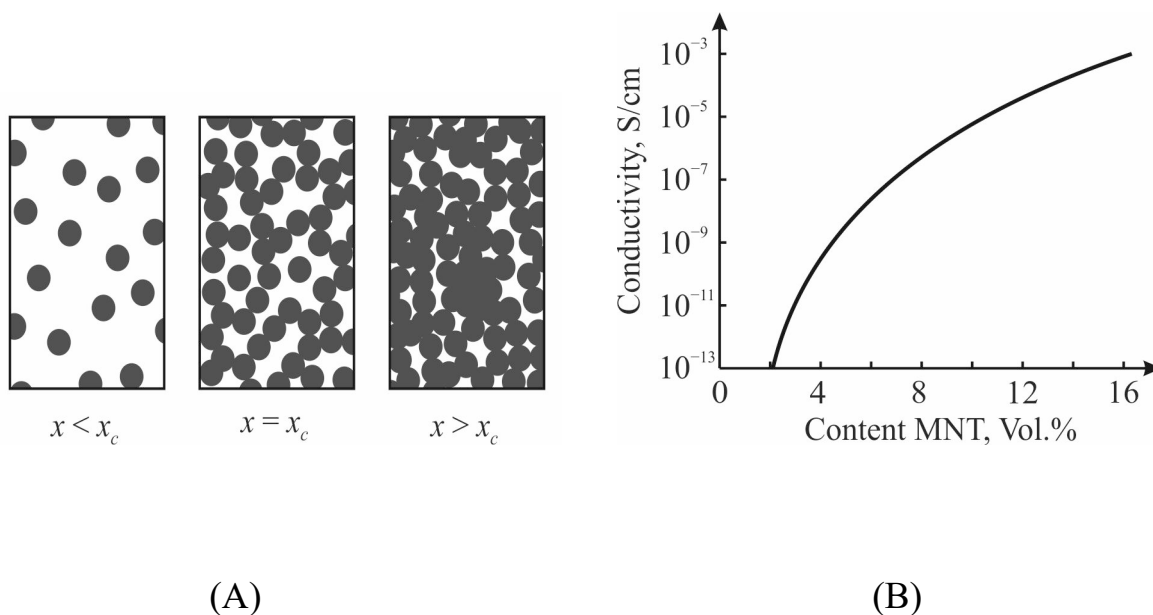


Рисунок. 2.4. - Вид перколяції в провідниково-полімерному композиті: а-поява агломерації провідних частинок із збільшенням їх концентрації, Б-провідність в полімерному поліаміді з добавками багатостінних нанотрубок



Електрична перколяція полягає у зміні властивостей композиту, що відбувається при зближенні електропровідних частинок, що знаходяться в ізолюючому середовищі; коли концентрація електропровідних частинок збільшується і вони починають стикатися: відбувається швидке збільшення провідності, обумовлене, наприклад, вимірюванням провідності  $s_{dc}$  при постійній напрузі, рис. 2.4 б. Фазовий перехід від майже непровідної фази ( $s_{dc} \gg 0$ ) до фази, яка сильно проводить постійний електричний струм, характеризує поріг *перколяції*. Зміна провідності при концентрації провідних частинок  $x$  може бути описано рівнянням  $s_{dc}(x) = s_0(x - x_c)^b$ , яке утримує *вище* порогової концентрації  $X_c$  провідних частинок, тобто для  $x \gg x_c$  (у випадку  $x < x_c$   $s_{dc} \gg 0$ ). Показник ступеня  $b$  залежить від форми провідникових частинок, а також від інших причин і може лежати в межах декількох одиниць (для сферичних частинок провідника теоретично передбачається, що  $b$  близький до одиниці). Цей параметр значно вище у випадку використання *анізотричних* частинок в якості наповнювача, що представляється очевидним для нанотрубок і графенових наповнювачів (а також для деяких інших подовжених наночастинок, таких як оксид заліза). Зазначимо, що в цьому випадку поріг перколяції виникає при значно меншій концентрації провідних частинок.

Порогова концентрація  $x_{xc}$  може бути або мала, або іноді перевищує 0,5. Теоретичні розрахунки показують, що у випадку сферичних частинок  $x_c = 0,33$ , але для еліптичних частинок порогова концентрація зменшується. Деякі теорії дають значення  $x_c = 0,16$ , в той час як багато експериментів з багатостінковими нанотрубками, використовуваними в композиті в якості наповнювача, вказують на критичну концентрацію поблизу  $x_c = 0,07$ . На високих частотах, біля перколяції провідності, спостерігається різке збільшення ефективної діелектричної проникності, що, природно, супроводжується збільшенням поглинання НВЧ.

## 2.5. Металеві частинки

Металеві частинки що застосовуються в якості наповнювачів для СВЧ-поглинаючих композитів, можуть значно збільшити СВЧ-поглинання або гумових полімерних композитів. Композити, які складаються з металевих наночастинок, поміщених в діелектричне середовище(матрицю), становлять інтерес для різних аспектів застосування в електроніці. Наприклад, була досліджена можливість використання наночастинок золота та срібла в якості датчиків, які реєструють ширину оптичного плазмонного резонансу. Проте потенційна можливість одержання підвищеного мікрохвильового поглинання в таких композитах також може бути цікава. В цьому випадку може бути корисна діелектрична спектроскопія як метод діагностики електричних властивостей таких композитів.

Дослідження показали, що сферичні наночастинок розміром близько 4-6 Нм можуть утворювати кластери наночастинок розміром до 100 нм, які мають металевий тип провідності. Встановлено також, що властивості металевих наночастинок помітно відрізняються від об'ємних зразків за рахунок великої відносної частки поверхневих атомів. В результаті ці наночастинок в більшості випадків ведуть себе як напівпровідники. Крім того, металеві наночастинок проявляють підвищену хімічну активність навіть у разі золота, яке зазвичай хімічно інертно. Наночастки золота та інших хімічно інертних металів можуть брати участь у ряді хімічних реакцій, зокрема, вони часто окислюються (показано, що частинки нікелю і навіть платини можуть окислюватися). Крім того, було виявлено, що металеві наночастинок можуть мати мозаїчну структуру, будучи покриті оксидною оболонкою. Діаметр і електронна структура металевих наночастинок не залежать від того, ізолювані вони або включені в многочастичний кластер.

Всі перераховані властивості металевих наночастинок повинні враховуватися при виготовленні полімерметаллических композитів і при аналізі розподілу зарядів в області границь розділу наночастинок-полімер. Крім того, в нанокompозитах на основі полімерної матриці в процесі їх полімеризації може відбуватися коагуляція та формування дендритних структури. Коли модель опис

полімерів, наповнених металевих частинок, поняття *ефективної діелектричної проникності* всієї системи може бути введений:  $\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon'(\omega) - i\varepsilon''(\omega)$  або, що еквівалентно, можна використовувати поняття *ефективної теплопровідності*:  $\sigma^*(\omega) = \sigma'(\omega) + i\sigma''(\omega) = i\omega\varepsilon_0\varepsilon^*(\omega)$  розглянуті раніше в Главі 1. Для обґрунтованості такого підходу необхідно враховувати наступні обмеження:

- \* неоднорідності повинні бути достатньо малі, щоб електричне поле можна було вважати постійним однорідних компонентів композита.;

- \* передбачається, що однорідні компоненти композита значно більше середнього вільного пробігу носіїв заряду.;

- \* передбачається, що довжина хвилі електромагнітного випромінювання значно перевищує розмір окремих компонентів композита.,

- \* глибина проникнення електромагнітної хвилі повинна бути значно більше розмірів деталей композиту.

Ці припущення дозволяють розглядати, з одного боку, метаматеріали, оскільки їх компоненти мають макроскопічні розміри, а з іншого-високопровідящие частки металів, що мають дуже малу глибину проникнення мікрохвиль. При цьому в разі мікронних частинок металевого наповнювача (і особливо нанорозмірних частинок) навряд чи застосовна теорія зон і концепція електронного газу в металах.

В слабопровідних полимерметаллических композитах (нижче порога їх перколяції) велику роль відіграють *прикордонні* шари на кордонах частинок наповнювача. Ці шари призводять до релаксації типу Максвелла-Вагнера, яка підтримує велике значення ефективної діелектричної проникності на відносно низьких частотах. У мікрохвильовому діапазоні ця діелектрична проникність проявляє дисперсію, що призводить до збільшення втрат, що призводять до поглинання НВЧ. Слід також зазначити, що поглинання в металлодіелектрических композитах також може бути обумовлено тунельної провідністю через тонкі (~1 нм) полімерні шари, що розділяють суміжні проводять області. У разі наявності

великих провідних кластерів не можна виключати можливості вкладу поглинання в *he вихрових струмів*, можливі навіть на надвисоких частотах.

У роботі [10] показано, що *ефективна* діелектрична проникність двокомпонентного композиту, компоненти якого мають діелектричною проникністю  $\varepsilon_1$  і  $\varepsilon_2$  з відповідною об'ємною концентрацією  $x_1$  і  $x_2$  (за умови, що  $x_1 + x_2 = 1$ ), може бути представлена трьома членами. Перші два з них описують внесок у діелектричну проникність окремих компонентів і можуть бути враховані формулами сумішей (наведеними в розділі 4). Третя складова відповідає релаксаційному вкладом в ефективну діелектричну проникність, який може бути описаний механізмом Максвелла-Вагнера або деякими іншими причинами. Частотна залежність діелектричної проникності і поглинання двокомпонентних композитів детально описана в роботі [8].

Як правило, матрицею композиту є *ізолятор* (полімер або гума) з низькою діелектричною проникністю ( $\varepsilon_1 = 2-5$ ) і малим мікрохвильовим поглинанням. Що стосується зерен наповнювача, то важко судити про їх діелектричної проникності  $\varepsilon_2$ , особливо при використанні нанорозмірних металевих частинок. Обмеження розмірів частинок наповнювача приводить до виходу за межі застосовності теорії Лоренца, в якій *macroscopic* фактично введені макроскопічні електромагнітні параметри будь-якого речовини ( $e$ ,  $m$ ,  $s$ ). Аналогічно, як теорія коливань кристалічної решітки, так і зонна електронна теорія твердих тіл припускають, що кристал є "нескінченної" середовищем для того, щоб відображеннями пружних або електронних хвиль від його кордонів можна було знехтувати. Очевидно, що ці умови застосовуються до наночасткам. Крім того, добре відомий принцип Пейерса [11], згідно з яким стає ізолятором будь тонкий одновимірний метал ("дуже тонка дріт"), близький до його граничних розмірів. Загальновідомо також, що при зменшенні розмірів металевих частинок їх провідність спочатку падає до рівня напівпровідників, а потім, у разі подальшого подрібнення, вони стають ізоляторами.

Слід зазначити, що в низьковимірних провідниках під впливом зовнішніх факторів можливий перехід від фази високої електропровідності до фази високої діелектричної проникності, при цьому зберігається висока діелектрична проникність діелектричної фази, спостережувана при мікрохвилях [11]. Причина цього явища в тому, що в деяких випадках електронний спектр низкорозмерного матеріалу стає нестійким. Наприклад, у деяких системах 1D відбувається фазовий перехід від квазіметаллической фази до фази діелектрика з великою діелектричною проникністю. Теоретичні розрахунки показують, що, слідуючи умові одномірності (тонка дрот), в основному стані ( $T = 0$ ) провідність металевого типу несумісна з одномірною системою атомів металу, але ця система повинна мати властивості діелектрика (теорема Р. Пейерса). Дійсно, у багатьох експериментах квазіодномерная провідна система при низьких температурах, як правило, перетворюється в діелектрик.

Приклад такої поведінки спостерігається в органічному провідному кристалі 1D, а саме в провідному полімері TTF-TCNQ (тетратіафульвален-тетраціанохинодиметан). В даний час досліджуються інші кристали-полімери цього типу, так що вони утворюють клас квазіодновимірних “металів”; зокрема, більшість з них при низьких температурах переходить в *ізолюючу фазу*. При низьких температурах провідність TTF-TCNQ раптовим стрибком стає дуже малою, але замість високої провідності в тому ж напрямку виникає велика анізотропна *діелектрична* проникність. Виміряний на мікрохвилях, коли будь-низькочастотний релаксаційний процес вже не може дати ніяких діелектричних вкладів, Кристал TTF-TCNQ показує  $\epsilon_3 = 3200$ , а  $\epsilon_1 = \epsilon_2 \gg 6$ . Звичайно, для звичайного полімерного композиту з металевим порошковим наповнювачем ці міркування здаються дуже далекими від реальності, але вони мають сенс у разі *перколяції металевих частинок* всередині композиту. При перколяції відбувається збільшення металевих частинок з утворенням анізотричних агломератів, які можуть мати таку структуру, в якій можливі квазіодномерные зв'язку між провідними частинками.

На закінчення даного розділу слід зазначити особливу роль видовжених частинок провідника, що використовуються в якості наповнювача, що справедливо як для металів, так і для вуглецевих матеріалів. У цьому випадку поріг перколяції суттєво зменшується. Справа в тому, що концентрація наповнювача повинна бути обмежена тим, що НВЧ-екрануючий матеріал повинен бути досить *гнучким*. Тому задача зводиться до знаходження критерію між порогом *перколяції* (при якому розсіяні частинки стикаються один з одним, збільшуючи СВЧ-поглинання) і *гнучкістю* композиту. Незважаючи на добре відомі великі успіхи, досягнуті в цій області, зберігаються значні можливості для нових ідей і розробок. Можливо, при поясненні цих закономірностей слід враховувати деякі механізми, що призводять до формування високої ефективної діелектричної проникності в низьковимірних провідних структурах, таких як TTF-TCNQ.

У всякому разі, експерименти показують, що спільне використання *магнітного* поглинаючого матеріалу з провідними наповнювачами представляється найбільш перспективним для поглинання НВЧ-матеріалів.

Для вимірювання НВЧ техніки зручно оперувати параметрами  $(\epsilon', \epsilon'')$ ,  $(\epsilon, \tan \delta)$ , оскільки вони зв'язані прямими співвідношеннями зі сталою поширення хвилі  $\gamma = \alpha + j\beta$ . Так, для ліній з однорідним діелектричним заповненням ці співвідношення мають вигляд:

$$\alpha^2 - \beta^2 = \left[ (1 - \epsilon') \left( \frac{\lambda_v}{\lambda_0} \right)^2 - 1 \right] \left( \frac{2\pi}{\lambda_v} \right)^2; \quad 2\alpha\beta = \epsilon'' \left( \frac{2\pi}{\lambda_v} \right)^2, \quad (2.1)$$

де  $\lambda_0$  та  $\lambda_v$  — довжина хвилі у вільному просторі та у лінії передавання відповідно;  $\alpha + j\beta = \gamma$  — стала поширення хвилі у лінії передавання. Відповідно до класифікації методи НВЧ вимірювання діелектриків можна поділити на дві великі групи — резонансні та нерезонансні.

Хвелеводні методи часто використовують у сантиметровому діапазоні частот, а також для характерно для початку досліджень діелектриків та сегнетоелектриків у НВЧ техніці.

Діелектричні трансформатори були використанні для того щоб знизити похибку вимірювань для діелектриків у яких велика величина діелектричної проникності. Цей метод вимагає ретельної підготовки як зразків так і умов самого вимірювання, через що отриманні цим методом данні були кращими за попередні показники.

Значною мірою це було зумовлено обмеженими технічними можливостями вимірювальних приладів. Так, найчастіше використовувалися «одноточкові» вимірювання, тобто вимірювання на одній фіксованій частоті. Якщо виконувати вимірювання в умовах сильного відбивання, це призведе до значного збільшення похибок вимірювання. Перебирання частот, яке забезпечується сучасними панорамними вимірювачами, дозволяє суттєво підвищити точність вимірювань як методами короткого замикання, так і методами передавання.

Резонансні методи відносять до другої групи вимірювання діелектричної проникності. Розвиток цих методів зумовлений тим що при певних умов величина похибки є значно меншою ані ж при вимірюванні іншим методом.

Існує кілька різновидів резонаторних методик, однак можливість їх реалізації зумовлена передусім виконанням однієї й тієї ж необхідної умови: геометричні розміри резонаторних об'ємів, заповнених досліджуваним матеріалом, у діапазоні НВЧ стають сумірними з довжиною хвилі у речовині.

Типовими резонансними методами визначення комплексної діелектричної проникності є методи ДР. При цьому сам зразок досліджуваного матеріалу є об'ємним резонатором, який має зв'язок з генератором та індикатором через поверхню об'єму.

Форма резонатору залежить від умов експерименту вони можуть по різному розташовуватись у середовищі між компонентами установки.

Для розрахунку цього методу достатньо співвідношення, яке пов'язує частоту електромагнітного поля, геометричні розміри резонатора та діелектричну проникність. Труднощами цього методу є умови коли потрібно виготовити зразок малих розмірів. Разом з тим методи з використанням діелектричних резонаторів незастосовні до вимірювання матеріалів з високими втратами, в тому числі і сегнетоелектриків.

## 2.6 Полімерні матриці для композиційних матеріалів

При створенні КМ конструкційного призначення основним завданням полімерної матриці є забезпечення спільності роботи волокон, забезпечення рівномірності розподілу зусиль між волокнами, захист їх поверхні від ушкодження. Тому до сполучною для конструкційних пластиків пред'являються наступні вимоги: хороша адгезія до поверхні наповнювача, висока міцність і ряд інших властивостей, що дозволяють проводити технологічні процеси отримання КМ, необхідний рівень в'язкості для просочення армуючих елементів або змішання з дисперсними наповнювачами, теплостійкість в умовах переробки у вироби і ін.

При отриманні КМ з іншими властивостями в якості матриці використовуються як термо- так і реактопласти, причому, питання механічної міцності часто не є визначальними. У ряді випадків прийнятними, з точки зору міцності, можуть бути і пінопласти. Велика різниця в коефіцієнтах теплового розширення матриці і наповнювача не є неприйнятною, як в разі конструкційних композиційних матеріалів. Більш того, вона дозволяє отримувати необхідні температурні залежності електричних властивостей. При підборі полімерної матриці на перше місце виходять параметри, що визначають розподіл в ній частинок наповнювача, зазначені вище міркування технологічного характеру (адгезія, необхідний рівень в'язкості, теплостійкість) а також наявність фазових переходів, що впливають, наприклад, на температурні залежності електричних властивостей.



## 2.7 Методи отримання композиційних матеріалів

Для отримання ПКМ з заданими параметрами потрібно звернути увагу не тільки на потрібні компоненти, але й на технології його виготовлення, що зв'язує ці два етапи виготовлення матеріалу.

Один із способів отримання деяких видів виробів з армованих пластику - безперервне намотування виробів. Для цього слід використовувати тонкі нитки. Змотуючи з бобін, вони проходять через ванну, де просочуються сполучною і намотуються на обертаючийся металевий сердечник. Таким чином, можна сказати, що технологічні способи виготовлення армованих композитів залежать від вище перекислених факторів. Крім зазначених вище методів застосовують також контактено-вакуумне, відцентрове, ручне формування тощо. Подальша стадія - затвердіння, умови якого визначаються типом обраного сполучника. Наповнення КМ на основі термопластичних полімерів отримують змішанням порошків полімерів або грануляту з наповнювачем з використанням звичайних методів переробки пластмас (пресування, лиття під тиском, екструзія, вальцювання і ін.).

Перспективним методом отримання є полімеризація наповнювача. В цьому випадку процес полімеризації проходить безпосередньо на поверхні частинок наповнювача. композиту, отриманий таким чином, характеризується тісним контактом між матрицею і наповнювачем і більш рівномірним розподілом наповнювача в матриці, ніж при змішуванні в розплаві або розчині полімеру.

Іншим перспективним методом є наповнення полімерів металами, при якому частинки наповнювача формуються в присутності полімеру. цей спосіб полягає у відновленні металів з їх солей методом противоточной дифузії солі і відновника безпосередньо в полімерній матриці. В якості матриці береться або водонабухаючий полімер (ПВС і т.п.), або пористий полімер, пориста структура якого сформована, наприклад, за механізмом крейзінга. Останній являє собою холодну витяжку полімеру в присутності фізично-активних рідких середовищ

(наприклад, н-бутанолу), при якій в полімері утворюються особливі зони пластично деформованого полімеру - Крейзі, тобто мікропори, розділені фібриллами орієнтованих макромолекул. Структура і кількість мікропор залежить від режиму деформування, температури і т.д. Новий метод дозволяє регулювати кількість наповнювача в матриці, характер розподілу часток наповнювача і їх розміри.

Характер розподілу наповнювача в полімерній матриці в значній мірі визначається взаємодією на границі між індивідуальною часткою наповнювача і полімерним середовищем. Розглянуті в літературі термодинамічні моделі засновані на розрахунку найбільш енергетично вигідних станів системи полімер-наповнювач. При цьому величина порога протікання, як правило, не збігається за величиною з передбаченим теорією протікання і моделлю ефективного середовища.. Іншими параметрами, що впливають на процес освіти ланцюгових структур, є в'язкість розплаву полімеру і діаметр частинок наповнювача. Як показують експериментальні дані, зменшення розміру частинок наповнювача збільшує ймовірність утворення ланцюгових структур, а зростання в'язкості підвищує час, протягом якого ці структури утворюються. остаточне рівняння для розрахунку порогу протікання має вигляд

## 2.8 Контактні явища на межі метал-діелектрик

Для електричних властивостей полімерних КМ важливі контактні явища на кордоні наповнювач-полімер, в значній мірі визначають електропровідність та інші електрофізичні властивості матеріалу. Освіта провідних шляхів в двофазній системі залежить від здатності частинок електропровідного фази утворювати хороший електричний контакт при їх зіткненні або зближенні. З огляду на величезну число контактів між частинками, будь-які зміни у властивостях контакту надають сильний вплив на електропровідність матеріалу. Окислення поверхні металу погіршує контакт і з цієї причини в багатьох випадках сам металевий порошок (в тому числі мідний) починає проводити електричний струм тільки при сильному стисненні. В цьому відношенні перевага залишається за благородними металами і тому інколи використовують, наприклад, порошок міді, частинки якого покриті сріблом, поєднуючи таким чином чудові контактні властивості срібла і невисоку вартість міді.

Причини, які призводять до виникнення потенційних бар'єрів в області контакту метал-ізолятор, можна розділити на три групи:

- 1) невідповідність між величинами робіт виходу у металу і діелектриків;
- 2) наявність поверхневих станів в ізоляторі, створюють власний поверхневий бар'єр;
- 3) наявність тонкої плівки третього речовини (наприклад, оксиду металу металевих частинках), яка викликає утворення потенційних бар'єрів.

Проходження носіїв струму через потенційні бар'єри можливо шляхом квантового тунелювання, або надбар'єрного переходом носіїв з достатньою для цього енергією.

## Висновки по розділу

Композитні матеріали являються доволі складною і непередбачуваною структурою, які залежать від 3 основних ефектів:

Ефект суми.

Комбінаційний ефект.

Ефект добутку.

Та не мало важливим явищем для цієї групи матеріалів являється перколяція.

## РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДОМ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ, ТА АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ЗРАЗКІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЧАСТКИ АКТИВНОГО ЕЛЕМЕНТУ

### 3.1 Діелектрична спектроскопія

Спектроскопія електрохімічного імпедансу використовується в широкому спектрі досліджень. У фарбах і покриття промисловості, він є корисним інструментом для дослідження якості покриттів і виявити наявність корозії. Він використовується в багатьох біосенсорних системах як метод без маркування для вимірювання концентрації бактерій і виявлення небезпечних патогенів. Електрохімічна імпедансна спектроскопія також використовується для аналізу і характеристики різних харчових продуктів. В області моніторингу здоров'я людини більш відомий як аналіз біоелектрохімічного імпедансу, який використовується для оцінки складу тіла, а також різних параметрів, таких як загальна вода в організмі і маса вільного жиру. Спектроскопію електрохімічного імпедансу можна використовувати для отримання частотної характеристики акумуляторів. Біомедичні датчики, що працюють в мікрохвильовому діапазоні, використовують діелектричну спектроскопію для виявлення змін діелектричних властивостей в діапазоні частот. База даних IFAC може використовуватися в якості ресурсу для отримання діелектричних властивостей тканин людського тіла. Для гетерогенних сумішей, таких як суспензії, можна використовувати імпедансної спектроскопії для моніторингу процесу осадження частинок.

Діелектрична спектроскопія вимірює діелектричні властивості середовища як функцію частоти. Цей метод ґрунтується на взаємодії зовнішнього поля з електричним дипольним моментом зразка, часто вираженим як діелектрична проникність. Цей метод вимірює імпеданс системи в діапазоні частот, і, отже, виявляється частотна характеристика системи, включаючи властивості

накопичення і розсіювання енергії. Часто дані, отримані за допомогою спектроскопії електрохімічного імпедансу, виражаються графічно у вигляді графіка Боде або графіка Найквіста.

Імпеданс - це протидія протіканню змінного струму в складній системі. Пасивна складова електричної системи включає в себе елементи розсіювання енергії (резистор) і накопичувача енергії (конденсатор). Якщо система є чисто резистивною, то протидія змінному або постійному струмі є просто опором. Матеріали або системи, які мають кілька фаз (наприклад, композити або гетерогенні матеріали), зазвичай демонструють універсальний діелектричний відгук, при якому діелектрична спектроскопія виявляє ступеневу залежність між опором і частотою  $\omega$  прикладеного змінного струму.

Практично будь-яка фізико-хімічна система, така як електрохімічні осередки, генератори масового пучка і навіть біологічна тканина, має властивості зберігання і розсіювання енергії. Цей метод надзвичайно виріс за останні кілька років і в даний час широко використовується в самих різних областях науки, таких як тестування паливних елементів, біомолекулярні взаємодії і визначення мікроструктурних характеристик.

### 3.2 Діелектричні механізми

Існує ряд різних діелектричних механізмів, пов'язаних з тим, як середовище, що досліджується реагує на прикладена поле. Кожен діелектричний механізм сконцентрований навколо своєї характеристичної частоти, яка обернено пропорційна характеристичному часу процесу. В цілому діелектричні механізми можна розділити на релаксаційні і резонансні процеси. Найбільш поширеними, починаючи з високих частот, є:

#### Електронна поляризація

Цей резонансний процес відбувається в нейтральному атомі, коли електричне поле зміщує електронну щільність щодо ядра, яке він оточує. Цей зсув відбувається

через рівноваги між відновними і електричними силами. Електронну поляризацію можна зрозуміти, якщо взяти атом як точкове ядро, оточене сферичним електронним хмарою з однорідною щільністю заряду.

#### Атомна поляризація

Поляризація атома спостерігається, коли ядро атома переорієнтується у відповідь на електричне поле. Це резонансний процес. Поляризація атома властива самій природі атома і є наслідком прикладеного поля. Електронна поляризація відноситься до електронної щільності і є наслідком прикладеного поля. Атомна поляризація зазвичай мала в порівнянні з електронною поляризацією.

#### Дипольне розслаблення

Це відбувається через постійні і індукованих диполів, які вишиковуються в електричне поле. Їх орієнтаційна поляризація порушується тепловим шумом (який зміщує дипольні вектори щодо напрямлення поля), а час, необхідний для релаксації диполів, визначається локальної в'язкістю. Ці два факти роблять дипольну релаксацію сильно залежною від температури, тиску і хімічного оточення.

#### Іонна релаксація

Іонна релаксація включає іонну провідність, релаксацію міжфазового і просторового заряду. Іонна провідність переважає на низьких частотах і вносить в систему тільки втрати. Міжфазна релаксація відбувається, коли носії заряду захоплюються на границі розділу гетерогенних систем. Пов'язаний ефект - поляризація Максвелла-Вагнера-Сіллара, коли носії заряду, заблоковані на внутрішніх діелектричних приграничних шарах або зовнішніх електродах, призводять до поділу зарядів. Заряди можуть бути розділені значною відстанню і, отже, впливати на діелектричні втрати, який на порядки більше, ніж відгук через молекулярних флуктуацій.

#### Діелектрична релаксація

Діелектрична релаксація в цілому є результатом руху диполів (дипольна релаксація) і електричних зарядів (іонна релаксація) за рахунок доданого змінного поля і зазвичай спостерігається в діапазоні частот  $10^2$  -  $10^{10}$  Гц. Механізми релаксації відносно повільні в порівнянні з резонансними електронними переходами або молекулярними коливаннями, які зазвичай мають частоти вище  $10^{12}$  Гц.



### 3.3 Аналіз результатів

Методом діелектричної спектроскопії було отримано залежність діелектричної проникності та провідності від частоти, при різних об'ємних долях активного елемента в композиті.

Залежності діелектричної проникності від частоти:

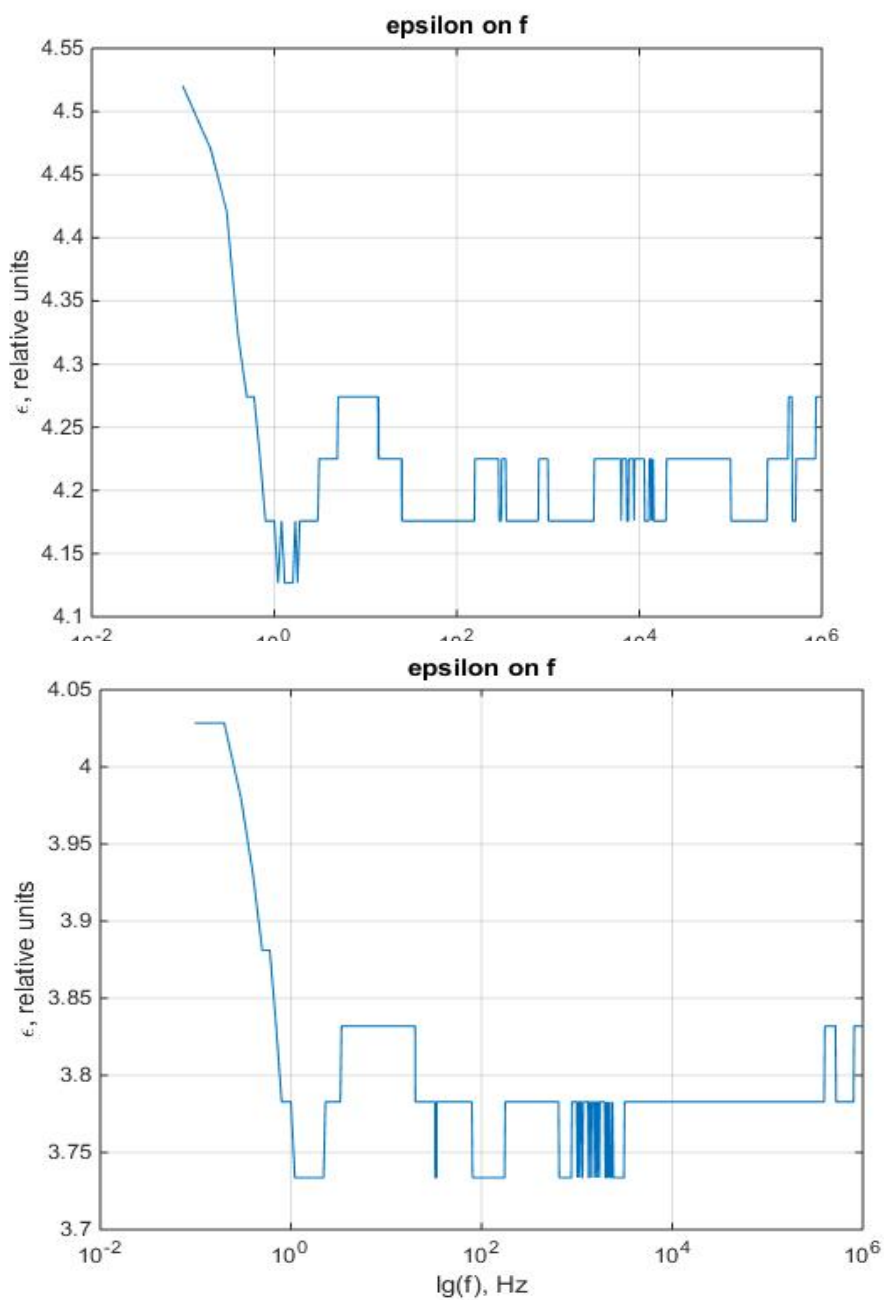


Рисунок. 3.2. - Залежність діелектричної проникності від частоти у композиті силікон-графіт, з об'ємною долею графіту - 0,0324

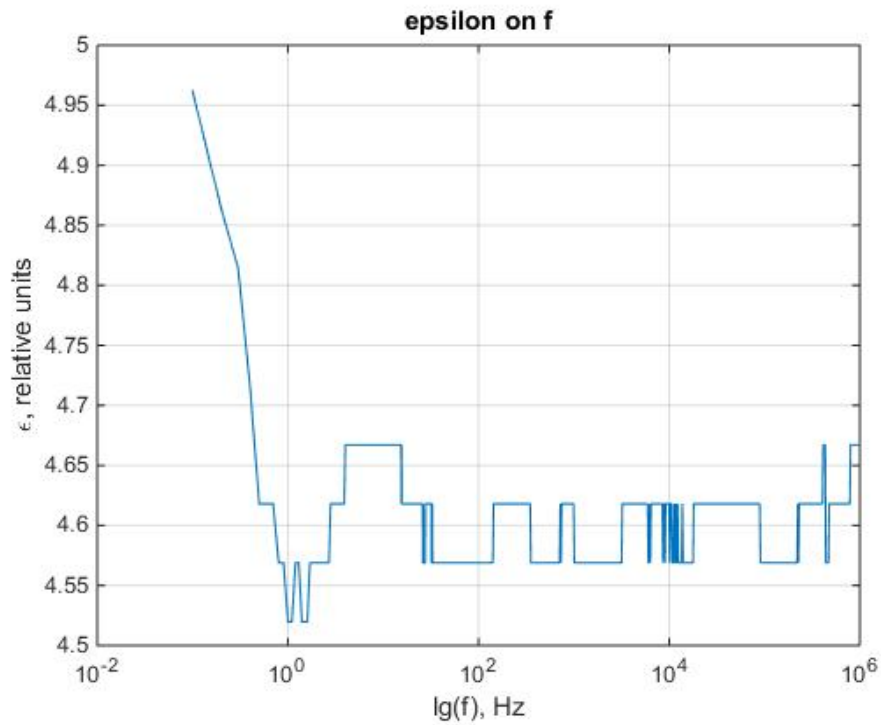


Рисунок. 3.3. - Залежність діелектричної проникності від частоти у композиті силікон-графіт, з об'ємною долею графіту - 0,0563

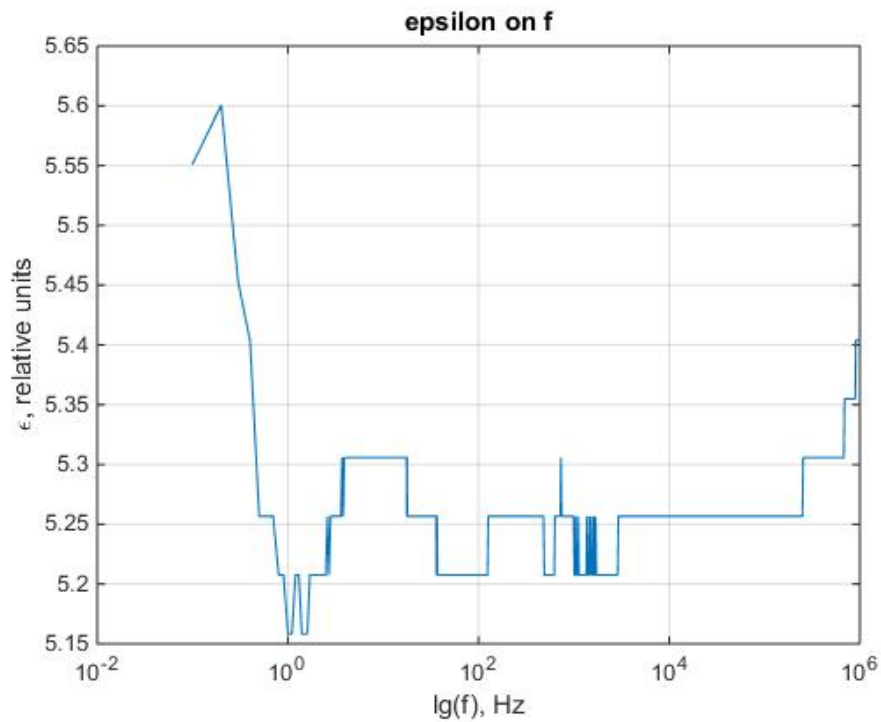


Рисунок. 3.4 -. Залежність діелектричної проникності від частоти у композиті силікон-графіт, з об'ємною долею графіту - 0,0867

Проаналізувавши ці данні ми бачимо що при збільшенні об'ємної долі графіту діелектрична проникність теж збільшується, але при об'ємній долі 0,0324 вона менша ніж у чистому силіконі.

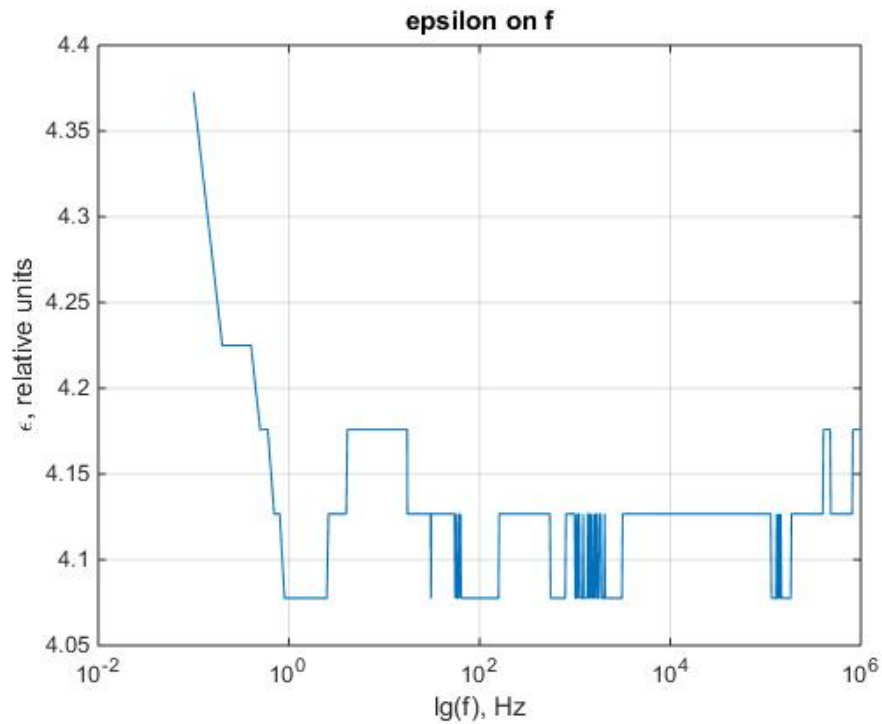


Рисунок. 3.5. - Залежність діелектричної проникності від частоти у композиті силікон-нікель, з об'ємною долею нікелю - 0,02452

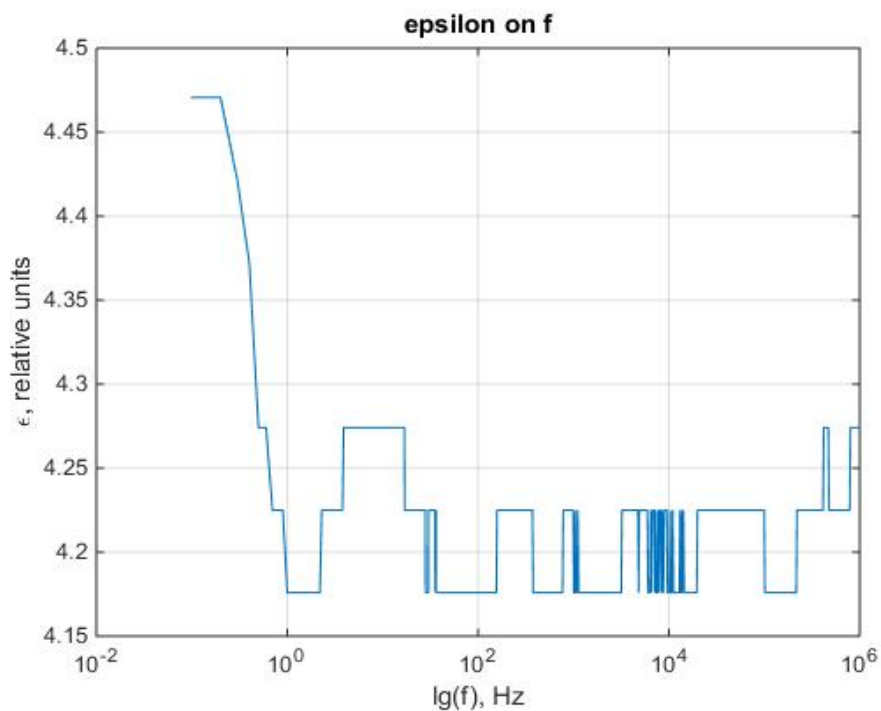


Рисунок. 3.6. - Залежність діелектричної проникності від частоти у композиті силікон-нікель, з об'ємною долею нікелю - 0,0523

Проаналізувавши ці данні ми бачимо що при збільшенні об'ємної долі нікелю до 0,0523 діелектрична проникність збільшується, але при об'ємній долі 0,02452 вона менша ніж у чистому силіконі.

Залежності провідності від частоти:

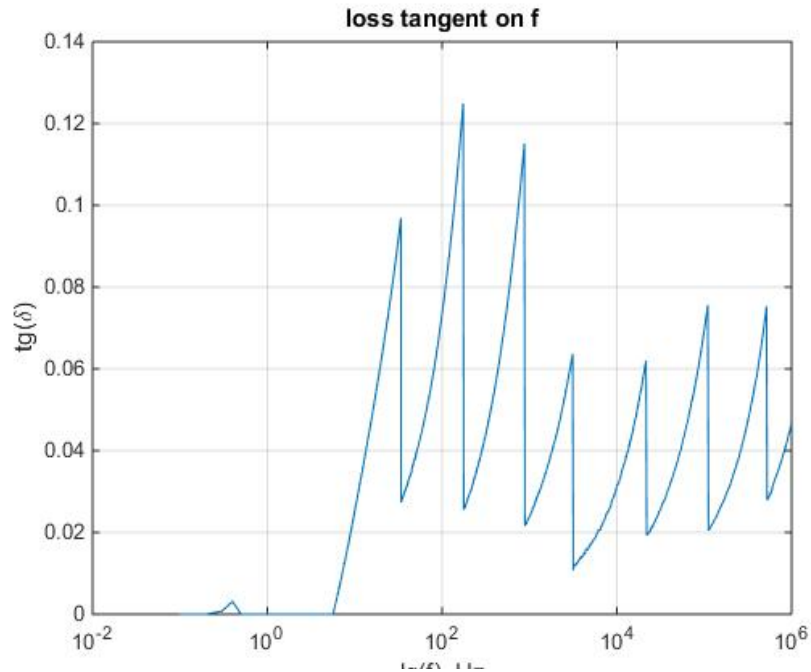


Рисунок. 3.8. - Залежність провідності від частоти у композиті силікон-графіт, з об'ємною долею графіту - 0,0324

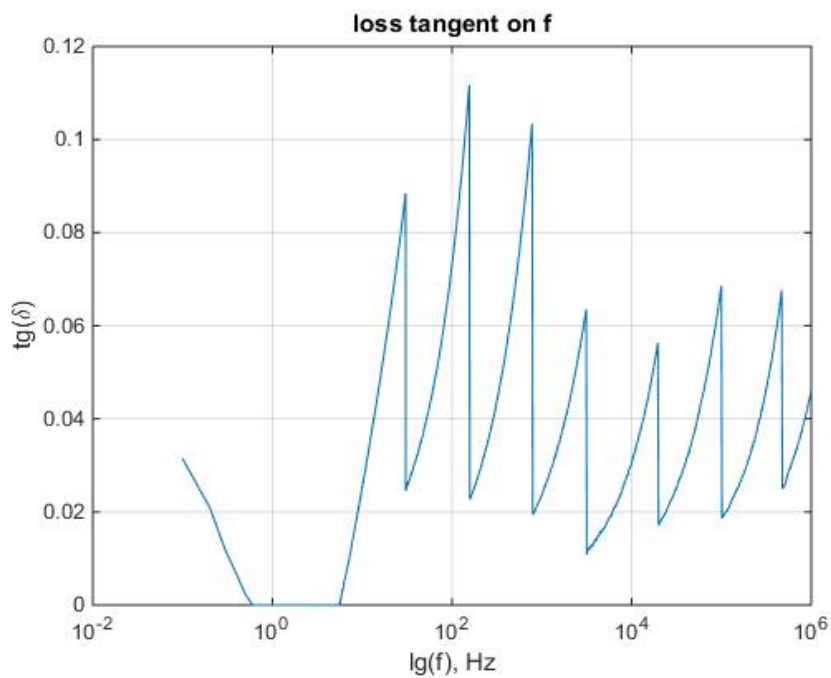


Рисунок.3.7. - Залежність провідності від частоти у чистому силіконі

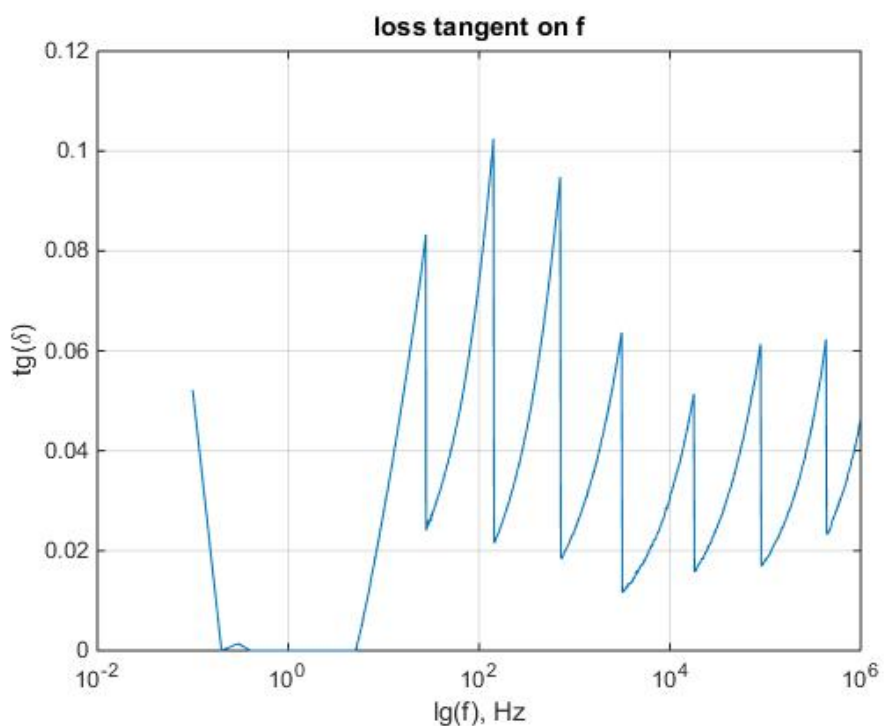


Рисунок. 3.9. - Залежність провідності від частоти у композиті силікон-графіт, з об'ємною долею графіту - 0,0563

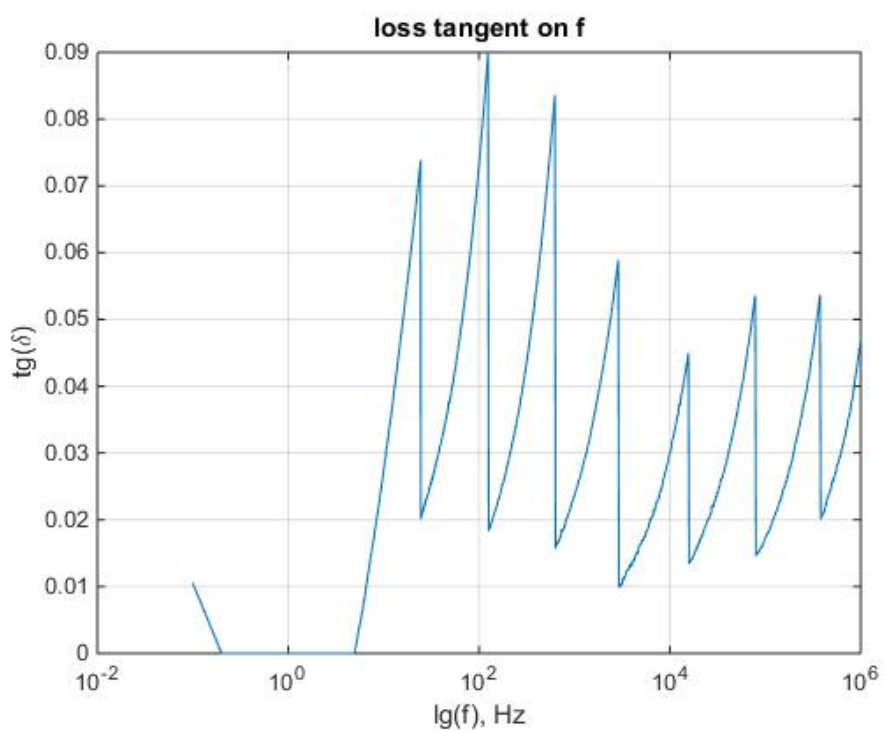


Рисунок.3.10. - Залежність провідності від частоти у композиті силікон-графіт, з об'ємною долею графіту - 0,0867

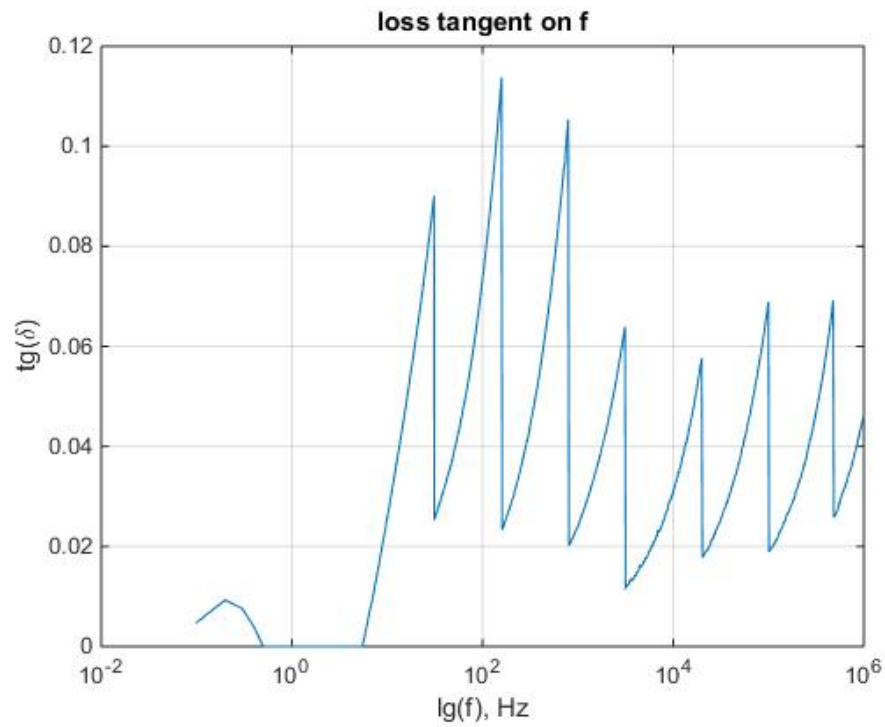


Рисунок.3.11. - Залежність провідності від частоти у композиті силікон-нікель, з об'ємною долею нікелю - 0,02452

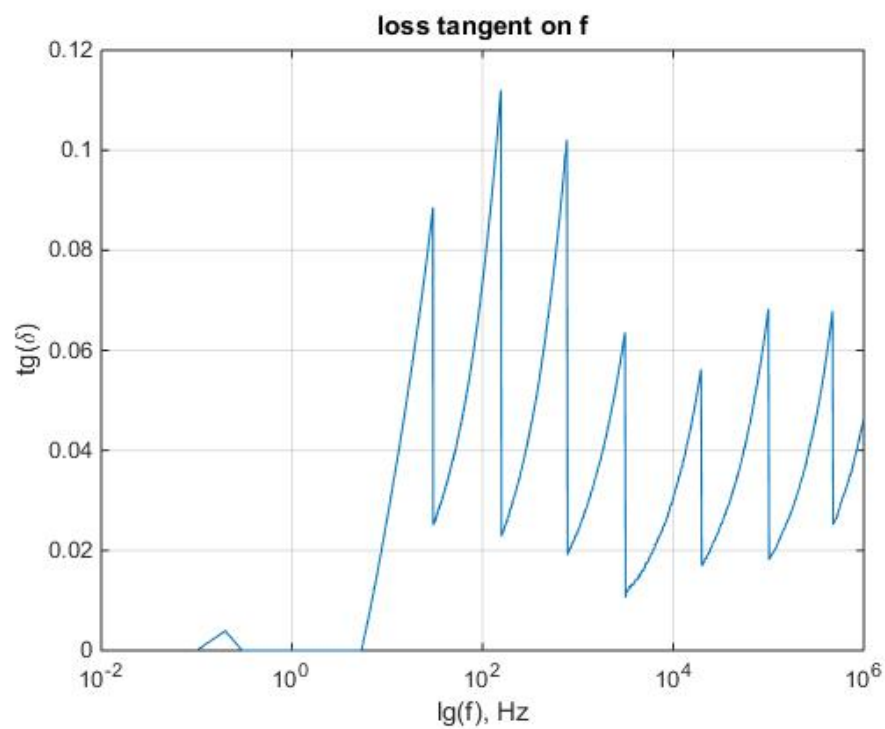


Рисунок.3.12. - Залежність провідності від частоти у композиті силікон-нікель, з об'ємною долею нікелю - 0,0523

## Висновки по розділу

Проаналізувавши ці данні ми бачимо що при збільшенні об'ємної долі графіту провідність зменшується, але при об'ємній долі 0,0324 вона зростає. А при збільшенні об'ємної долі нікелю до 0,0523 провідність залишається майже не змінною, але при об'ємній долі 0,02452 вона збільшується відносно зразка чистого силікону.

Очевидно, що дані КМ можуть бути використані для застосування в якості ізоляційних матеріалів в високочастотної області спектра, тому що при високих частотах вони мають максимальні втрати при будь-яких об'ємних наповненнях від 10 до 50 об. %.

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

#### 4.1 Опис ідеї проекту

Таблиця 4.1 - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Вимірювання НВЧ параметрів матеріалу методом діелектричної спектроскопії	1. НВЧ електроніка	Метод використовується для вимірювання НВЧ параметрів композитних матеріалів Типу метал-діелектрик
	2. Дослідницька робота у вищих навчальних закладах	Відносно дешевий, цікавий в дослідженні

Таблиця 4.2 -. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент1	Конкурент 2	Конкурент 3			
1.	Економічні	390 у.о.	4000 у.о.	4000 у.о.	4000 у.о.		-	
2.	Призначення	Нові матеріали та технології	Нові матеріали та технології	Нові матеріали та технології	Нові матеріали та технології			+



Таблиця 4.2. Продовження.

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3			
3.	Надійності	Довговічність – 5р.	Не має	Не має	Не має	+		+
4.	Технологічні	Спектроскопія	Спектроскопія	Спектроскопія	Спектроскопія	+	+	
5.	Ергономічні	-	-	-	-		+	
6.	Органолептичні	-	-	-	-		+	
7.	Естетичні	-	-	-	-		+	
8.	Транспортабельність	-	-	-	-		+	
9.	Екологічності	Екологічний	Екологічний	Екологічний	Екологічний		+	+
10.	Безпеки	Безпечно	Безпечно	Безпечно	Безпечно		+	+

Конкурент 1: Методи резонансу  
лінії передач

Конкурент 2: Хвилеводні методи

Конкурент 3: Коаксіальні методи

## 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 4.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту.

п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Вимірювання НВЧ параметрів матеріалу методом діелектричної спектроскопії	Діелектрична спектроскопія	Наявна	Доступно

## 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 4.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту.

п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
	Кількість головних гравців, од	3
	Загальний обсяг продаж, ум.од/рік	1000 / рік
	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Збільшується
	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Зростання виробництва
	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Потребує
	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	120%

Таблиця 4.5 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту.

№ п/ п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Мінімізація малогабаритних параметрів та підвищення точності	Особи що виробляють	-	Точність вимірювання параметрів

Таблиця 4.6 - Фактори загроз.

№ п/ п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Наявність кваліфікованих кадрів	Потрібні люди з інженерною освітою	Науково- дослідницькі інститути
2.	Потреба в ресурсах	Для появи продукту потрібне технічне обладнання	Укладання договорів з поставниками ресурсів та оренда приміщень для виготовлення та тестування продукту

Таблиця 4.7 - Фактори можливостей.

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Спростити виробництво	Модернізація товару
2.	Попит	Покращення технологій	Модернізація товару

Таблиця 4.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку.

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції поліполія	На ринку присутня маленька кількість компаній	Застосування передових технологій та залучення кваліфікованого персоналу
2. За рівнем конкурентної боротьби міжнародний	Місцезнаходження фірм не обмежується територіально;	Створювати веб-сайт компанії і відділи у різних країнах
3. За галузевою ознакою внутрішньогалузева	Економічна боротьба між різними товаровиробниками, які	Слідкувати за розробками конкурентів

Таблиця 4.8 Продовження.

	діють в одній галузі економіки, виробляють і реалізують однакові товари, що задовольняють одну й ту саму потребу, але мають відмінності у виробничих затратах, якості, ціні, тощо.	
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Конкуренція між товарами одного виду	Покращувати якість товару і знижувати його вартість
Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
5. За характером конкурентних переваг - цінова	Передбачає продаж продукції за більш низькими цінами, ніж конкуренти.	Продавати товар за низькою вартістю.
6. За інтенсивністю - немарочна	Роль торгової марки значна	Реклама товару

Таблиця 4.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером.

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	"NSS"	MAI-KE	Товар продається розробниками	Вимоги до якості і довговічності	Замінників немає
Висновки:	Інтенсивність висока, конкуренти давно на ринку	Інтенсивність низька, конкуренти давно на ринку	Постачальники не диктують умови на ринку	Товар має бути якісним і довговічним	Обмежень немає

Для забезпечення конкурентної спроможності на ринку при розробці товару необхідні кваліфіковані спеціалісти, що зробить товар якіснішим ніж у конкурентів.

Таблиця 4.10 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності.

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Ступінь покращення характеристики.	Конкуренти не мають даного фактору
2.	Якість розробки з точки зору показників якості та довговічності	Вимірювання має бути з найменшими похибками
3.	Наявність наукових ресурсів	Для покращення якості продукції та технологічного шляху потрібні наукові ресурси
4.	Економічний (ціна товару)	Ціна не має бути висока, щоб знайти потенційних покупців.

‘Таблиця 4.11 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту.

п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів- конкурентів у порівнянні з -3МІІ						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1.	Ступінь покращення характеристик ФЕП.	20							
2.	Якість розробки з точки зору показників якості та довговічності	15							
3.	Наявність наукових ресурсів	10							
4.	Економічний (ціна товару)	16							

Таблиця 4.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту.

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Пошук наукових ресурсів, налагодження технології виробництва.	60 %	4 роки
2.	Пошук наукових ресурсів, налагодження технології виробництва.	50%	5 роки

Обрано альтернативу № 1.

#### 4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 4.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів.

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Приватні підприємства, Вищі наукові заклади	Готові	Високий	Низька	Складна
Які цільові групи обрано: обрано цільову групу №1.					

Таблиця 4.15 - Визначення базової стратегії розвитку.

п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентос проможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
	1	За рахунок великих	Витрати на	Стратегія
1.		можливостей по об'ємах збуту товарів (укладених контрактів на постачання) і продуктивності, підприємство доб'ється менших витрат	виробництво та рекламу товару	лідерства на характеристиках і якостях вимірювання

Обрано стратегію лідерства на характеристиках.



Таблиця 4.16 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки.

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем » на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1.	Ні	Так	Так, показники якості	Виклику лідера

Таблиця 4.17 - Визначення стратегії позиціонування.

п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспро- можні позиції власного стартап- проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Точність вимірювання параметрів	Лідерство на характери- стиках	Покращення характеристик вимірювальної комірки.	Оптимальне співвідношення ціна/якість

#### 4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 4.18 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару.

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Покращення точності вимірювання	Збільшення точності	Збільшення точності і якості вимірювальної комірки

Таблиця 4.19 - Опис трьох рівнів моделі товару.

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Пристрій для вимірювання НВЧ параметрів матеріалів
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	1. Підвищення точності 2.390.
	2. Довговічність.
	Якість: висока
	Пакування: -
III. Товар із підкріпленням	Марка: -
	До продажу: гарантія.
	Після продажу: -
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патент	

Таблиця 4.20 - Визначення меж встановлення ціни.

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	-	2000-12000 у.о.	30000 у.о. і вище	300 – 500 у.о./м <sup>2</sup>

Таблиця 4.21 - Формування системи збуту.

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Заказ товару на сайті	Встановлення контакту, інформування, поділ, зберігання, сортування	Канал нульового рівня	Виробник збуває продукцію покупцям

Таблиця 4.22 - Концепція маркетингових комунікацій.

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонува- ння	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	спонукають до пошуку рішення	<ul style="list-style-type: none"> <li>Реклама</li> <li>SMM</li> <li>Сайт</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Якість</li> <li>Надійність</li> <li>Дешевизна</li> </ul>	Донесення отримання прибутку з	Показ застосування системи

## ВИСНОВКИ

Використання в НВЧ-мікроелектроніці резонансних явищ з діелектриках з великою діелектричною проникністю сприяє створенню високоефективних частотно-виборчих пристроїв з діелектричними резонаторами, застосування яких суттєво знижує вартість, масо-габаритні показники та покращує енергетичні характеристики апаратури.

Продовжується інтенсивний пошук нових, удосконалення відомих композицій та технологій для покращання характеристик НВЧ діелектриків або їх здешевлення, оскільки при виборі матеріалу окрім електричних характеристик важливим фактором залишається економічна доцільність застосування того чи іншого діелектрика.

В данній роботі було досліджено НВЧ характеристики композитних метеріали типу метал- діелектрик. Як показують наші дослідження, ці композити являють собою перспективні для НВЧ застосувань діелектрики. Попередні результати досліджень указують на те, що означені матеріали також володіють НВЧ характеристиками придатними для використань у НВЧ приладах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Chan H.L. Thermal hysteresis in the permit tivity and polarization of lead zirconate titanate/vinylidenfloridetri fluoroethylene 03 composites / Chan H.L., Chen Y.W., Choy C.L. - IEEE Trans Diel. Electr. Insul;1996., 800–805p.
2. Gefle O.S. The mechanism of the barrier effect in solid dielectrics // J. Phys. D: Appl. Phys./ Gefle O.S., Lebedev S.M., Uschakov V.Y. – 1997., 3273p.
3. Сажин Б.И. Электрические свойства полимеров. / Сажин Б.И. – Л.: Химия, 1977. – 192 с.
4. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов. / Тареев Б.М. – М.: Энергоиздат, 1982. – 320 с.
5. Gittleman J.L., Goldstain Y., Bozowski S. Magnetic roperties of Granular Ni-kel Films / Gittleman J.L., Goldstain Y., Bozowski S. - Physical Review B.-1972., 3609-3621p.
6. Structural and electrical properties of granular metal films /B.Abeles, P. Sheng M.D.Coutts and Y. Arie // Advances in Physics.-1975., 407-461p.
7. Helman J.S.Tunneling of Spin-Polarized Electrons and Magne-toresistance in Granular Ni Films / Helman J.S., Abeles B. - Phys. Rev. Lett.-1976. 1429-1433p.
8. Sheng P., Abeles B. and Arie Y. Hopping conductivity in granular Metals / Sheng P., Abeles B. - Phys.Rev.Lett.-1973. 44-47p.
9. Chien C.L. Giant magneto-transport phenomena in granular magnetic systems/ Chien C.L. - Mater.Sci. & Eng.-1995. 127-131p.
- 10.Fujimori H. Tunnel-type GMR in metal-nonmetal granular alloy thin films / Fujimori H., Mitani S., Ohnuma S. - Mater.Sci. & Eng.-1995. 219-223p.
- 11.Magnetoresistance of granular ferromagnets / A.Gerber, A.Milner, B.Groisman et al. // Physical Review B.-1997. 6446-6452p.
- 12.Sato H. et al. Thermoelectric power and Hall effect in Co-Al-O granular films/ Sato H - J.Phys.Soc.Japan.-1998. 2193-2196p.

13. И.В.Быков Магниторефрак-тивный эффект в гранулированных пленках с туннельным магнитосопротивлением / И.В.Быков, Е.А.Ганыпина, А.Б.Грановский, В.С.Гущин - ФТТ.-2000. 487-491с.
14. Особенности магнитооптических спектров гибридных мультислоев Co/SiO<sub>2</sub> / Е.А.Ганыпина, А.Б.Грановский, Б.Диени и др. // ФТТ.-2000.-Т.42, вып. 10.-С. 1860-1862.
15. Н.Е.Казанцева Физика и химия обработки материалов / Н.Е.Казанцева, А.Т.Пономаренко, В.Г.Шевченко, И.А.Чмутин, Ю.Е.Калинин, А.В.Ситников ФТТ.-2002.-№ 1.-С. 5-11.
16. Петров Ю.И. Кластеры и малые частицы./ Петров Ю.И - М.: Наука, 1986.-368 с.
17. Гусев А.И. Эффекты нанокристаллического состояния в компактных металлах и соединениях / Гусев А.И. - УФН.-1998.-55-83с.
18. Wolf S.A. Spintronics: A new paradigm for electronics for the new millennium / Wolf S.A., Treger D. - IEEE Transactions on Magnetics.-2000.- 2748-2751p.
19. Aassime A. A sensitive and fast radio frequency singl-electron transistor / Aassime A., Delsing P., Claeson T. - Nanotechnology.-2001. - 96-99p.
20. Fujimori H. Giant magnetoresistance in insulating granular films and planar tunneling junctions / Fujimori H., Mitani S., Takanashi K. - Mat.Sci.Eng.A.-1999.- 184-192p.
21. Sankar S., Berkowitz A.E., Smith D.J. Spin-dependent transport of Co-SiO<sub>2</sub> granular films approaching percolation / Sankar S., Berkowitz A.E., Smith D.J. - Phys.Rev.B.-2000.- 14273-14278p.
22. J.S.Moodera Optimum tunnel barrier in ferromagnetic—insulator-ferromagnetic tunneling structures / J.S.Moodera, E.F.Gallagher, K.Robinson and J.Nowak - Appl.Phys.Lett.-1997.- 3050-3068p.
23. Кадомцев Б.Б. Динамика и информатика// УФН.-1994.-Т. 164, №.5.-С. 449-530.

- 24.Y. Hayakawa Microstructure and magnetoresistance of Fe-Hf-O films with high electrical resistivity /Y. Hayakawa, N. Hasegawa, A. Makino - JMMM.-1996.- 175-182p.
- 25.Y.-H. Huang Granular Fe-Pb—O films with large tunneling magnetoresistance / Y.-H. Huang, J.-H. Hsu, J.W. Chen, C.-R. Chang - Appl. Phys. Lett.-1998.- 2171-2173p.
- 26.S. Honda Tunneling giant magnetoresistance in heterogeneous Fe-SiO<sub>2</sub> granular films / S. Honda, T. Okada, M. Nawate, M. Tokumoto Phys. Rev.B.-1997.- 14566-14573p.
- 27.Ковнеристый Ю.К. Физико-химические основы создания аморфных металлических сплавов. / Ковнеристый Ю.К., Осипов Э.К., Трофимова Е.А. - М.: Наука, 1983. - 145 с.
- 28.Калинин Ю.Е. Неупругие и магнитоупругие явления в аморфных металлических сплавах / Калинин Ю.Е. - Дис. на соискание уч. ст. д-ра физ.-мат. наук ВПИ. Воронеж, 1991. - 267 с.
- 29.Л.Майссела Технология тонких пленок / Л.Майссел, Р.Глэнг. М.- Советское радио, 1977.-662 с.
- 30.M.Ohnuma Microstructure of Co-Al-O granular thin films / M.Ohnuma, K.Hono, E.Abe et al. J.Appl.Phys.-1997.- 5646-5652p.
- 31.V. Kolobov The Formation of Copper Nanoclusters in SiO<sub>2</sub> Studied by X-Ray Absorption Spectroscopy / V. Kolobov, H. Oyanagai, S. A. Gurevich et al. J. Surface Analysis.-1997.- 486-490p.
- 32.Д.А.Закгейм Температурная зависимость проводимости композитных пленок Si: SiO<sub>2</sub> эксперимент и численное моделирование / Д.А.Закгейм, И.В.Рожанский, И.П.Смирнова, С.А.Гуревич - ЖЭТФ.-2000.- 637-646с.
- 33.Рабинович В.А., Халявин З.Я. Краткий химический справочник. / Рабинович В.А., Халявин З.Я. - Л.: Химия, 1978.-376 с.
- 34.Фельц А. Аморфные стеклообразные неорганические твердые тела.-М. / Фельц А. - Мир, 1986.-558 с.

35. Я.С. Уманский Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия / Я.С. Уманский, Ю.А. Скаков, А.И. Иванов, Л.Н. Расторгуев. - М.: Металлургия, 1982. - 632 с.
36. B.Dieny Spin-dependent tunneling in discontinuous metal/insulator multilayers / B.Dieny, S.Sankar, M.R.McCartney et al JMMM.-1998.- 283-292p.
37. Yakushiji K. Composition dependence of particle size distribution and giant magnetoresistance in Co-Al-O granular films / Yakushiji K., Mitani S., Takanashi K. et al JMMM.-2000. - 75-81p.
38. Татаринова Л.И. Структура твердых аморфных и жидких веществ./ Татаринова Л.И. - М.Наука, 1983.-151 с.